

Prototype Proteksi Arus Lebih Menggunakan *Current Transformer* Berbasis Mikrokontroler Atmega32

Hadi Prayogo, Herri Gusmedi, Yulianto Raharjo

Jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung, Bandar Lampung
Jl. Prof. Sumantri Brojonegoro No.1 Bandar Lampung 35145

¹hadiprayogol9ok@gmail.com

²herri.gusmedi@eng.unila.ac.id

³sipyar66@gmail.com

Intisari -Sistem proteksi pada peralatan tenaga listrik sangat diperlukan untuk menjaga kehandalan dan kualitas listrik, sistem proteksi yang baik mampu melokalisasi keadaan dari gangguan seperti kelebihan beban dan hubung singkat. Pengendalian dari sistem proteksi sendiri harus cepat dan sensitif dalam merespon gangguan, sehingga langsung memerintahkan sistem proteksi untuk bekerja. Dalam penelitian ini dibuat prototipe proteksi arus lebih terdiri dari komponen seperti Transformator Arus, Mikrokontroler ATmega32, pengkondisi sinyal, lcd 2x16, ULN 2003, relay, dan komponen pendukung lainnya. Diperlukan pengkalibrasian system, supaya tidak terjadi kesalahan pada proses pengamanan saluran, kesalahan pembacaan sensor sebesar 0.01553% pada saat pengujian transformator arus 1, pada saat pengujian transformator arus 2 kesalahan pembacaan alat sebesar 0.019495% , sedangkan pada saat pengujian sensor tegangan kesalahan pembacaannya 0.001459%. Pada masing-masing Transformator arus dibatasi arus maksimal 4 ampere. Apabila terjadi arus lebih dari batas maksimal arus yang ditentukan, maka sistem proteksi akan memutus saluran dan menghubungkan kembali apabila arus dibawah batas maksimal.

Kata kunci –Transformator Arus, Mikrokontroler ATmega32, ULN 2003 dan Relay.

Abstract -Protection systems in electric power equipment is needed to maintain reliability and power quality, The good protection system capable to allocate overload and short circuit. System control of the protection system must be fast and sensitive in responding of fault thus directly ordered protection system to work. In this research a prototype overcurrent protection consists of components such as transformers Flow, ATmega32 microcontroller, signal conditioning, lcd 2x16, ULN 2003, relays, and other supporting components. In this thesis required calibration system, so that won't give error occurs in the process of securing the channel, the sensor reading error of 0.01553% when the current transformer testing 1, when the current transformer testing tool 2 reading errors by 0.019495% and then testing error voltage sensor reading is 0.001459%. For each of the current transformers is limited maximum current 4 amperes. If there is more current than the maximum current limit is specified, the protection system will be disconnected and reconnected when the channel below the current maximum limit.

Keywords– Current transformer, microcontroller ATmega32, ULN 2003 and Relay.

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Proteksi arus lebih sangat dibutuhkan dalam hal untuk menjaga keamanan dari suatu sistem. Jika sistem proteksi tersebut bagus, maka akan terciptanya keadaan yang aman, apabila pada saluran terjadi kelebihan arus yang disebabkan oleh pemakaian beban ataupun hubung singkat.

CT (*Current Transformer*) itu sendiri dalam penggunaannya dapat digunakan sebagai pengukuran arus, Tetapi dalam penelitian ini, CT (*Current Transformer*) lebih digunakan sebagai pembacaan arus nilai arus sekunder pada *Current Transformer* dihasilkan berdasarkan adanya perubahan rasio dan arus primernya. *Current Transformer* umumnya terdiri dari sebuah inti besi yang dililiti oleh konduktor kawat tembaga.

Sedangkan untuk pembacaan tegangan digunakan *transformer step down*. semua keadaan sensor dalam bentuk analog dan harus kita konversikan terlebih dahulu dalam bentuk digital. Pada dasarnya fungsi CT (*Current Transformer*) hanya digunakan untuk pembacaan arus dan dijadikan acuan untuk unit pengontrol mikrokontroler untuk memerintahkan sistem proteksi berkerja.

Sistem proteksi disini dapat diartikan sebagai sakelar Pemutus Tenaga (PMT) yaitu suatu peralatan pemutus rangkaian listrik pada suatu sistem tenaga listrik, yang mampu untuk membuka dan menutup rangkaian listrik pada semua kondisi. Pada alat ini nantinya juga dapat digunakan sebagai konfigurasi system pengendalian pembangkit listrik tenaga hybrid, yaitu gabungan dari beberapa pembangkit, misalnya PLTMH (Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohydro), PLTS (Pembangkit Listrik Tenaga Surya) dan PLTA (Pembangkit listrik tenaga angin). Pada pengendali utamanya pada sistem ini yaitu ATmega32.

B. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. membuat sebuah alat yang dapat digunakan untuk memutus saluran yang terhubung terhadap beban, apabila terjadi arus lebih ataupun hubung singkat.
2. mengetahui nilai arus dari penggunaan beban.
3. dapat membatasi nominal arus dari penggunaan beban.
4. Mengetahui tegangan PLN yang terhubung pada saluran.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Hukum Kirchhoff

Hukum *kirchoff* merupakan salah satu teori elektronika untuk menganalisa lebih lanjut tentang rangkaian elektronika. Dengan hukum kirchhoff kita dapat menganalisa lebih lanjut tentang arus yang mengalir dalam rangkaian

dan tegangan yang terdapat pada titik-titik rangkaian elektronika.

Hukum *Kirchoff* terbagi menjadi 2 yaitu :

1. Hukum *Kirchoff* arus (*Kirchoff Current Law / KCL*) :

“Jumlah aljabar arus yang melalui sebuah titik simpul adalah nol”.

Dapat juga dikatakan bahwa arus yang masuk kedalam suatu titik percabangan adalah sama dengan arus yang keluar dari titik percabangan tersebut.

Secara matematis dapat dituliskan :

$$\Sigma I = 0$$

2. Hukum *Kirchoff* tegangan (*Kirchoff Voltage Law / KVL*) :

“Jumlah aljabar tegangan secara vektoris pada suatu loop tertutup adalah nol”.

Bahwa tegangan pada sumber yang mencatu pada suatu rangkaian adalah sama dengan jumlah tegangan pada tiap elemen pada rangkaian tersebut.

Secara matematis dapat dituliskan :

$$\Sigma V = 0$$

B. Transformator Arus

Trafo Arus (*Current Transformer*) yaitu peralatan yang digunakan untuk melakukan pengukuran besaran arus pada instalasi tenaga listrik disisi primer (TET, TT dan TM) yang berskala besar dengan melakukan transformasi dari besaran arus yang besar menjadi besaran arus yang kecil secara akurat dan teliti untuk keperluan pengukuran dan proteksi.

Pada dasarnya prinsip kerja transformator arus sama dengan transformator daya. Jika pada kumparan primer mengalir arus I_1 , maka pada kumparan primer timbul gaya gerak magnet sebesar $N_1 I_1$. Gaya gerak magnet ini memproduksi fluks pada inti, kemudian membangkitkan gaya gerak listrik (GGL) pada kumparan sekunder. Jika terminal kumparan sekunder tertutup, maka pada kumparan sekunder mengalir arus I_2 , arus ini

menimbulkan gaya gerak magnet $N_1 I_1$ pada kumparan sekunder.

C. Sakelar Pemutus Tenaga (PMT)

Circuit Breaker atau Sakelar Pemutus Tenaga (PMT) adalah suatu peralatan pemutus rangkaian listrik pada suatu sistem tenaga listrik, yang mampu untuk membuka dan menutup rangkaian listrik pada semua kondisi, termasuk arus hubung singkat, sesuai dengan ratingnya. Juga pada kondisi tegangan yang normal ataupun tidak normal.

Fungsi utama pemutus tenaga adalah harus dapat membuka (memutus arus) dan menutup rangkaian (mengalirkan arus). Di dalam memilih satu pemutus tenaga harus memenuhi beberapa persyaratan, diantaranya, yaitu:

1. Pemutus tenaga harus mampu mengalirkan arus nominal secara kontinyu untuk waktu yang tidak terbatas.
2. Pemutus tenaga harus cepat dalam memutuskan arus hubung singkat yang terjadi, dan secepatnya bersifat sebagai isolasi sesuai dengan waktu tunda maksimum.
3. Pemutus tenaga harus mampu memutuskan dengan aman pada situasi kerja arus nominal, dan terbuka secara otomatis pada kondisi arus hubung singkat atau pada beban lebih.
4. Pemutus tenaga harus mampu menahan akibat yang ditimbulkan oleh busur api listrik pada sela kontak.
5. Kontak -kontak dan suatu pemutus tenaga harus mampu membuka, apabila di dalam rangkaian (system) terjadi gangguan.
6. Pemutus tenaga harus mampu tidak beroperasi dalam kondisi yang dapat merusak alat tersebut.
7. Pemutus tenaga harus dapat memutuskan arus yang sangat kecil, misalnya arus magnetisasi transformator atau saluran yang sifatnya induktif atau kapasitif.

D. Konfigurasi Sistem Pembangkit Tenaga Hybrid

Sistem Hybrid atau pembangkit listrik tenaga hybrid adalah gabungan atau integrasi dari beberapa pembangkit listrik dengan sumber energy yang berbeda. Energi listrik hybrid sangat cocok untuk dipasang di beberapa wilayah pesisir kawasan Indonesia. Pembangkit listrik jenis ini merupakan sumber energi terbarukan yang relevan untuk dikembangkan, karena potensi energinya masih sangat besar. Keuntungan dari teknologi hybrid ini sangat penting saat ketika dalam keadaan yang tidak menentu, misalnya dalam keadaan hujan berangin, meskipun sel surya tidak dapat berfungsi tetapi kincir angin dan mikrohydro masih dapat berfungsi untuk menghasilkan energy listrik, begitupun sebaliknya. Namun, jika hanya berbasis satu energy akan mengalami gangguan ketika cuaca tidak sesuai dengan teknologi energy yang digunakan.

E. Mikrokontroler ATmega32

Mikrokontroler ATmega32 adalah mikrokontroler 8-bit keluaran Atmel dari keluarga AVR. Mikrokontroler ini dirancang berdasarkan arsitektur AVR RISC (*Reduced Instruction Set Computer*) yang mengeksekusi satu instruksi dalam satu siklus clock sehingga dapat mencapai eksekusi instruksi sebesar 1 MIPS (*Million Instruction Per Second*) setiap 1 MHz frekuensi clock yang digunakan mikrokontroler tersebut. AVR Atmega32 merupakan sebuah mikrokontroler *low power* CMOS 8 bit berdasarkan arsitektur AVR RISC. Mikrokontroler ini memiliki karakteristik sebagai berikut:

Menggunakan arsitektur AVR RISC, 131 perintah dengan satu *clock cycle*, 32 x 8 register umum, Data dan program memori, 32 Kb *In-System Programmable Flash*, 2 Kb SRAM, 1 Kb *In-System* EEPROM, 8 Channel 10-bit ADC, *Two Wire Interface*, *USART Serial Communication*, *Slave SPI Serial Interface*, *On-Chip Oscillator*, *Watch-dog Timer* 32 *Bi-directional I/O*, Tegangan

F. LCD 2X16

LCD (*Liquid Crystal Display*) merupakan salah satu perangkat *display* yang umum dipakai dalam sebuah *system instrumentasi*. Dengan LCD kita bisa menampilkan sebuah informasi dari sebuah pengukuran data sensor, menu pengaturan instrument, ataupun yang lainnya dengan konsumsi daya rendah. ATmega32 juga didukung dengan penampil LCD, LCD ini berfungsi untuk menampilkan nilai atau perintah-perintah yang ditulis pada kode program. Dengan LCD ini perintah-perintah yang diberikan akan mudah dibaca baik benar atau salah.

G. Relay

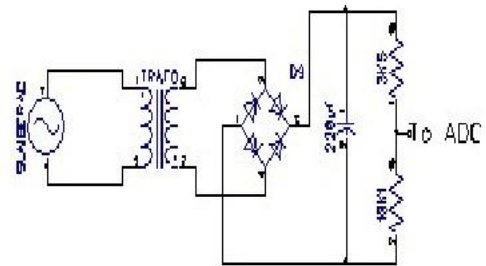
Relay adalah saklar mekanik yang dikendalikan atau dikontrol secara elektronik (elektro magnetik). Saklar pada *relay* akan terjadi perubahan posisi OFF ke ON pada saat diberikan energi elektro magnetik pada *armatur relay* tersebut. *Relay* pada dasarnya terdiri dari 2 bagian utama yaitu saklar mekanik dan sistem pembangkit elektromagnetik (induktor inti besi). saklar atau kontaktor *relay* dikendalikan menggunakan tegangan listrik yang diberikan ke induktor pembangkit magnet untuk menarik armatur tuas saklar atau kontaktor *relay*.

H. ULN 2003

IC ULN 2003 adalah sebuah IC dengan ciri memiliki 7-bit masukan, tegangan maksimum 50 volt dan arus 500mA. IC ini termasuk jenis TTL. Di dalam IC ini terdapat transistor darlington. Transistor darlington merupakan 2 buah transistor yang dirangkai dengan konfigurasi khusus untuk mendapatkan penguatan ganda sehingga dapat menghasilkan penguatan arus yang besar.

Pada perancangan Prototipe Arus lebih, ada beberapa hal yang harus di rancang antara lain:

A. Pembuatan Sensor tegangan

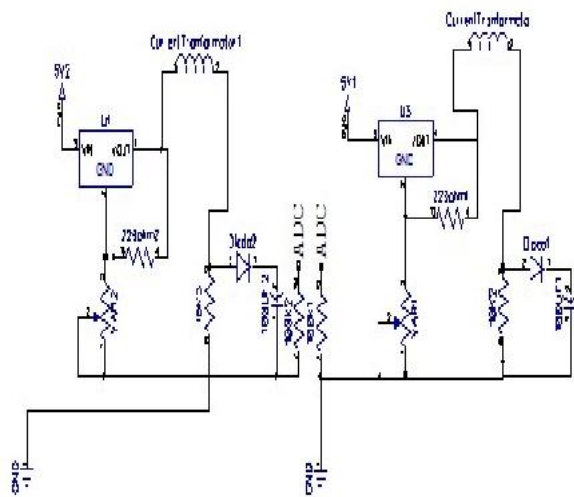


Gbr. 1 Rangkaian Sensor Tegangan

Pada perancangan sensor tegangan sebagai komponen inputan mikrokontroler maka dibuat dengan menggunakan *step down transformer*. Tegangan AC yang akan diukur diturunkan terlebih dahulu dengan trafo, disearahkan, dan difilter agar menjadi tegangan DC sehingga dapat menjadi acuan pembacaan pada mikrokontroler dengan nilai tegangan maksimum 5VDC.

Karena pada tegangan output trafo adalah 5Vac pada input 400 Vac maka dilakukan teknik penyearah untuk mendapatkan tegangan DC yaitu dengan rangkaian rangkaian *bridge rectifier*. Setelah didapat tegangan DC 5V maka tegangan tersebut turunkan dengan pembagi tegangan sehingga di dapatkan tegangan yang aman untuk masukan mikrokontroler. Dengan perhitungan pembagi tegangan sebagai berikut:

$$V_{out} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \times V_{in}$$

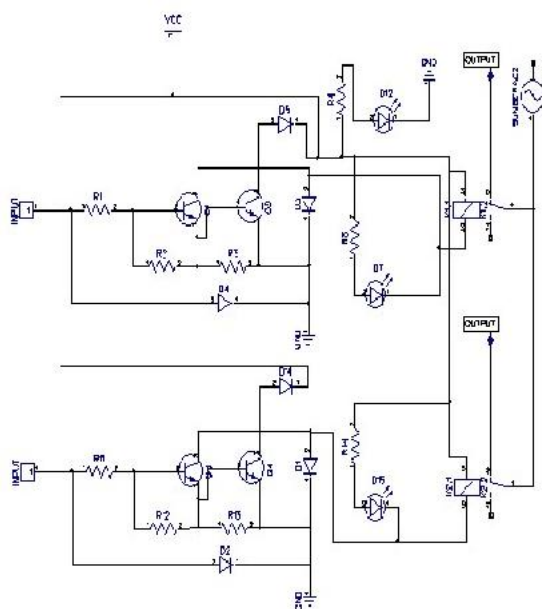


Gbr. 2 Rangkaian pengkondisi sinyal keluaran *Current Transformer*

Untuk pembuatan sensor arus dalam penelitian ini menggunakan *current transformer* (CT). Arus akan diukur berdasarkan tegangan luaran dari CT, tegangan tersebut mewakili nilai arus yang terbaca oleh CT. Dengan *output* berupa tegangan AC 0,05V/1A sehingga dibutuhkan pengkondisi sinyal untuk dapat diolah oleh mikrokontroler.

C. Rangkaian Driver Relay

Rangkaian *Driver Relay* dipergunakan untuk menghidupkan atau mematikan beban Konsumen.

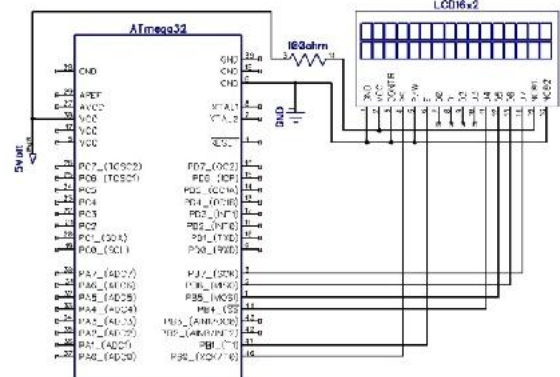


Gbr. 3 Rangkaian *Driver Relay*

Untuk pembuatan proteksi arus lebih dalam penelitian ini menggunakan *Driver Relay*. *Driver Relay* yang digunakan disini menggunakan ULN2003, tetapi harus adanya trigger dari mikrokontroler dengan logika 1 atau 0 supaya rangkaian dapat berkerja.

D. Interface LCD 2x16

Untuk menampilkan nilai arus permasing-masing trafo arus, arus total dan tegangan menggunakan LCD 2x16. Untuk pengolahannya menggunakan mikrokontroler ATmega32, berikut rangkaiannya:





F. Perangkat Lunak

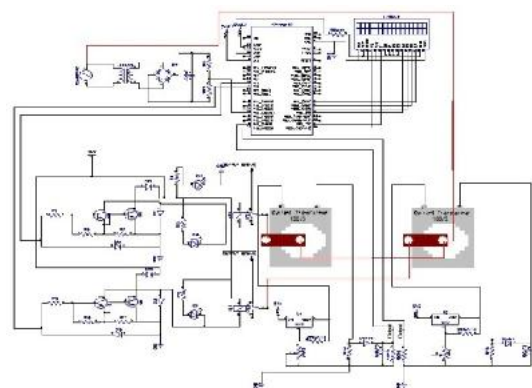
1. Menerima masukan dari sensor tegangan
2. Menerima masukan dari sensor arus (*Current Transformer*)
3. Memproses sinyal masukan dari sensor arus yang kemudian diproses sesuai dengan logaritma yang diperintahkan sehingga menghasilkan aksi untuk menjadikan masukan kepada rangkaian pengendali *driver relay* untuk beroperasi.
4. sensor arus, sensor tegangan dan jumlah arus total yang kemudian di tampilkan ke dalam LCD 16x2.

Dalam metode pengujian dan kalibrasi yang digunakan yaitu mengacu pada amperemeter digital. Dengan tujuan diadakan pengujian dan kalibrasi hal ini dilakukan supaya keakuratan antara alat yang dibuat

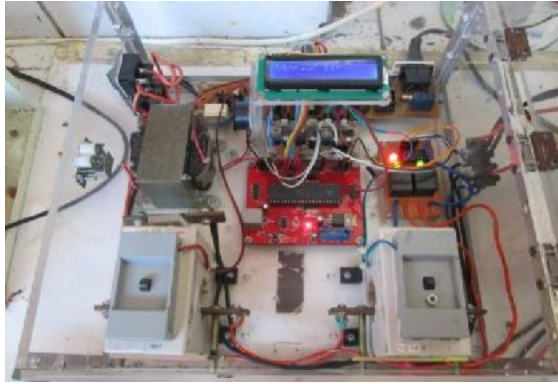
Dalam metode *%Error* yang digunakan yaitu mengacu pada Regresi Linier dan Statistika Perhitungan Nilai *Error*. Dengan tujuan diadakan metode *%Error* hal ini dilakukan supaya hasil yang diinginkan akurat.

Pada pengujian dan kalibrasi ini dilakukan beberapa pengujian diantaranya: pengujian pembacaan tegangan, pengujian pembacaan arus *current transformer* 1, pengujian pembacaan arus *current transformer* 2, pengujian pembacaan arus *current transformer* 1 dan arus *current transformer* 2, arus total dan aksi pemutusan ke saluran.

Skematik rangkaian perangkat proteksi arus lebih ini dapat dilihat pada Gambar 6.



Gbr. 6 Skematik Perangkat proteksi arus lebih



Gbr. 7 Rangkaian Perangkat Proteksi Arus lebih

Perangkat tersebut terbagi menjadi beberapa bagian utama yaitu *transformer* arus, *transformer step-down*, rangkaian pengkondisi sinyal tegangan, rangkaian pengkondisi sinyal arus, rangkaian pemutus *Driver Relay*, ATmega32, dan LCD 2x16.

Adapun beberapa fungsi dari komponen tersebut: *Transformer arus* berfungsi sebagai sensor arus, *Transformer step-down* berfungsi sebagai sensor tegangan listrik AC (*Alternating Current*), rangkaian pengkondisi sinyal tegangan berfungsi sebagai penyearah tegangan AC ke DC, pengkondisi sinyal Arus berfungsi sebagai mensearahkan dari keluaran *Current Transformer* sebelum diolah oleh mikrokontroller, rangkaian pemutus *driver relay* berfungsi sebagai memutus arus yang terhubung ke beban yang diperintahkan oleh mikrokontroller, ATmega32 berfungsi sebagai pengolahan data analog ke digital, memberi *trigger* untuk rangkaian pemutus *driver relay* dan menampilkan tegangan, I_1 (arus satu), I_2 (arus dua) dan I_T (arus total) pada LCD 2x16.

2. Power Supply

Pada rangkaian *power supply* diperoleh masukan tegangan 220 VAC yang kemudian keluarannya tegangan 5 volt DC. *Power Supply* berfungsi sebagai sumber tagangan 5 Volt DC, untuk mensuplai tegangan pada system minimum ATmega32, mensuplai tegangan pada pengkondisi sinyal arus, mensuplai tegangan pada rangkaian *driver relay*, mensuplai tegangan pada LCD 2x16.

3. Rangkaian Penyearah keluaran Sensor Tegangan

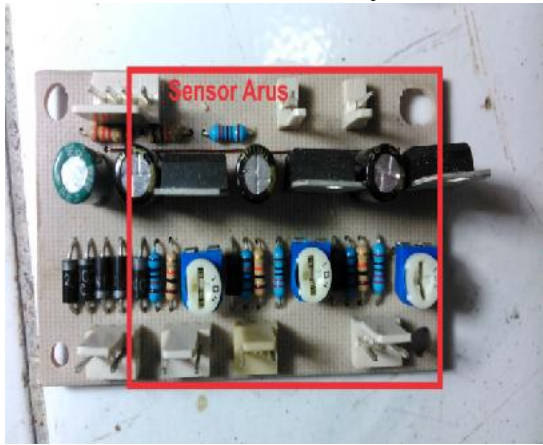
Sensor tegangan berfungsi untuk mengetahui tegangan pada PLN, keluaran dari sensor tegangan ini berupa tegangan bolak-balik, sehingga harus disearahkan terlebih dahulu supaya dapat diolah oleh mikrokontroller. Sensor tegangan yang digunakan berupa *transformer step-down* dengan masukan tegangan 400 Volt AC dan tegangan keluaran 5 Volt AC yang disearahkan menggunakan *diode bridge* 1 *ampere*, dan *difilter* menggunakan kapasitor 220 μ f untuk mengurangi *ripple*. Perubahan tegangan keluaran dari sisi sekunder mengikuti tegangan masukan dari sisi primer, Perubahan ini di karenakan perbandingan antara belitan primer dan belitan sekunder. Gambar Rangkaian Pengkondisi Tegangan dapat dilihat pada Gambar.8.



Gbr. 8 Rangkaian Pengkondisi Sinyal Tegangan

4. Rangkaian Penyearah keluaran Sensor Arus

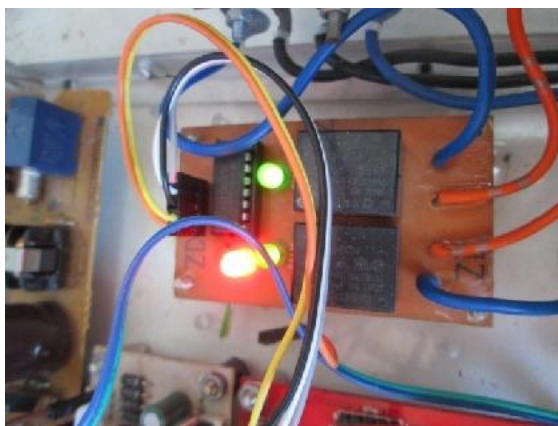
Sensor Arus berfungsi untuk mengetahui nilai arus yang terhubung ke beban, akan tetapi nilai pembacaan arus pada *current transformer* masih berupa arus bolak balik, sedangkan pengolahan data pada mikrokontroller hanya dapat diolah berupa arus searah, pengolahan data yang maksudkan adalah pengolahan data analog ke data digital, sehingga diperlukan adanya pensearahan arus terlebih dahulu. Rangkaian penyearah arus ini di buat bertujuan untuk mensearahkan arus keluaran *current transformer*. Rangkaian penyearah keluaran sensor arus dapat dilihat pada Gambar 9.



Gbr. 9 Rangkaian Penyearah Keluaran Sensor Arus

5. Rangkaian Driver Relay

Rangkaian aksi pemutus *driver relay* berfungsi untuk memproteksi beban apabila terjadi hubung singkat dan kelebihan pemakaian beban, semua perintah aksi pemutusan ke beban diperintah oleh mikrokontroller, nilai batasan arus sudah ditetapkan sebesar 4 ampere pada masing masing *relay*, jika melebihi dari nominal arus yang sudah ditetapkan tersebut maka rangkaian aksi pemutus *driver relay* tersebut akan berkerja, adapun rangkaian aksi pemutus *driver relay* dapat dilihat pada Gambar 10.



Gbr. 10 Rangkaian Driver relay

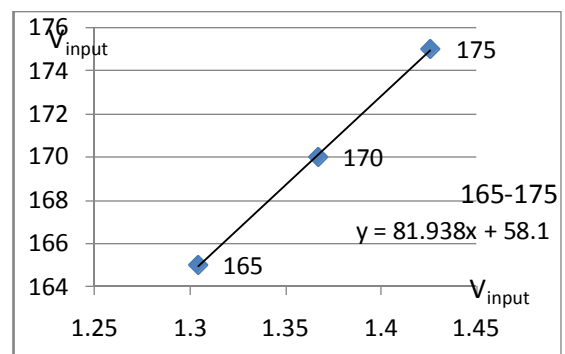
6. Perhitungan Regresi Linier Data Tegangan

Dalam perhitungan menentukan nilai konstanta yang akan digunakan sebagai acuan dalam pembuatan perangkat lunak adalah dengan persamaan 2-12. Perbandingan dalam persamaan tersebut adalah nilai dari tegangan masukan (masukan tegangan PLN) sensor

tegangan yang diwakili sumbu y terhadap nilai keluaran sensor tegangan (tegangan keluaran DC) yang diwakili dengan sumbu x. Keluaran dari sensor tegangan tersebut akan baru bisa diolah menjadi masukan terhadap mikrokontroller. Pada perhitungan berikut ini hanya sebagian contoh dari perhitungan regresi linier data tegangan, untuk secara keseluruhannya terdapat pada lampiran A. Beberapa perhitungan dapat di lihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Tegangan 165 – 175

No	Vdc (X)	Vac (Y)	X ²	XY
1	1.304	165	1.700416	215.16
2	1.367	170	1.868689	232.39
3	1.426	175	2.033476	249.55
Σ	4.097	510	5.602581	697.1



Gbr. 11 Grafik pengujian tegangan 165-175

$$a = \frac{(\sum Y)(\sum X^2) - (\sum X)(\sum XY)}{(n\sum X^2) - (\sum X)^2}$$

$$a = \frac{(510)(5.602581) - (4.097)(697.1)}{(3 \times 5.602581) - (4.097)^2}$$

$$a = 58.10020596$$

$$b = \frac{(n\sum XY) - (\sum X)(\sum Y)}{(n\sum X^2) - (\sum X)^2}$$

$$b = \frac{(3 \times 697.1) - (4.097)(510)}{(3 \times 5.602581) - (4.097)^2}$$

$$b = 81.9378526$$

$$\text{Jadi, } Y = 81.937826x + 58.10020596$$

7. Pengujian Sensor tegangan

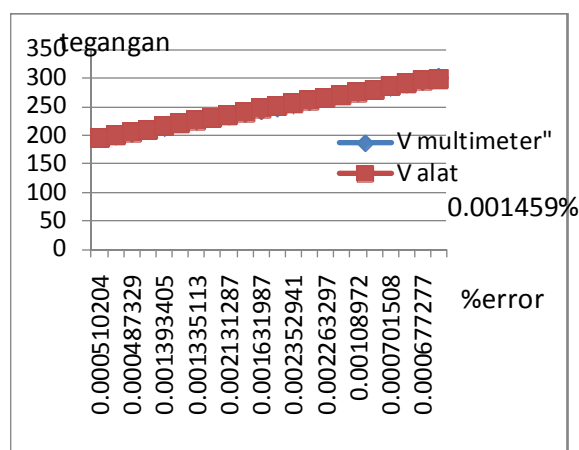
Pengujian sensor tegangan ini dilakukan untuk melihat keakurasian dari sensor tegangan yang dibuat terhadap alat ukur, sebelum pengambilan data sensor tegangan harus terlebih dahulu di kalibrasi terlebih

dahulu dengan alat ukur yang ada dipasaran, pengkalibrasian sensor tegangan ini dikalibrasikan dengan multimeter digital sanwa CD800a. Dari hasil pengujian dapat lihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Pengujian Sensor Tegangan

No	Tegangan Alat	Tegangan multimeter Digital	%Error
1	195.9	196	0.00051
2	200.2	200.3	0.000499
3	205.1	205.2	0.000487
4	210.1	210.3	0.000951
5	215.6	215.3	0.001393
6	220.3	220.4	0.000454
7	225	224.7	0.001335
8	230	230	0
9	235.1	234.6	0.002131
10	240.1	239.8	0.001251
11	245.5	245.1	0.001632
12	250.7	250	0.0028
13	255.6	255	0.002353
14	261.3	260	0.005
15	265.7	265.1	0.002263
16	270.7	270.3	0.00148
17	275.6	275.3	0.00109
18	280.3	280.1	0.000714
19	285.3	285.1	0.000702
20	290	290.3	0.001033
21	295.5	295.3	0.000677
22	299.1	300.1	0.003332
23	Rata-rata %error		0.001459

Dari hasil pengujian sensor tegangan dapat dilihat dalam bentuk grafik % error pembacaan tegangan



Gbr. 12 Hasil Grafik %error pembacaan tegangan

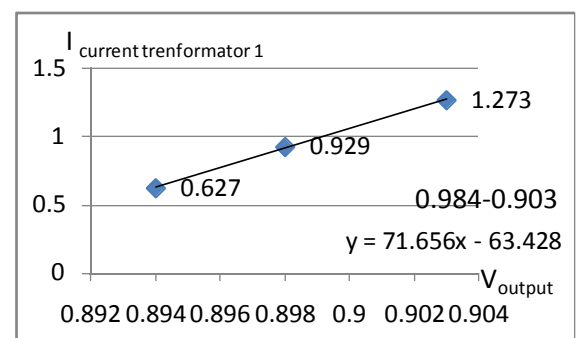
Tabel 2 dan Gbr grafik 12 merupakan data hasil pengujian sensor tegangan. Pada pengujian tersebut dikalibrasikandengan Multimeter Digital merk sanwa CD800a. Pada tabel dan grafik terdapat nilai rata-rata %error alat yaitu 0.001459 %.

8. Perhitungan Regresi Linier Data Arus 1

Dalam perhitungan regresi linier data arus 1 bertujuan untuk menentukan nilai konstanta yang akan digunakan sebagai acuan dalam pembuatan perangkat lunak adalah dengan persamaan 2-12. Pada persamaan tersebut adalah perbandingan antara nilai arus pengukuran pada multimeter digital yang diwakili sumbu y terhadap nilai keluaran dari sensor arus (tegangan keluaran DC) yang diwakili sumbu x. Keluaran dari sensor arus tersebut baru bisa diolah menjadi masukan terhadap mikrokontroller. Pada perhitungan berikut ini hanya sebagian contoh dari perhitungan regresi linier data arus, untuk secara keseluruhannya terdapat pada lampiran B. Beberapa perhitungan dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Arus 0.627 – 1.273

No	Vdc (X)	I multi (Y)	X ²	XY
1	0.894	0.627	0.799236	0.560538
2	0.898	0.929	0.806404	0.834242
3	0.903	1.273	0.815409	1.149519
Σ	2.695	2.829	2.421049	2.544299



Gbr. 13 Grafik pengujian arus 0.627 – 1.273

$$a = \frac{(\sum Y)(\sum X^2) - (\sum X)(\sum XY)}{(n\sum X^2) - (\sum X)^2}$$

$$a = \frac{(2.829)(2.421049) - (2.695)(2.544299)}{(3 \times 2.421049) - (2.695)^2}$$

$$a = -63.4277377$$

$$b = \frac{(n\sum XY) - (\sum X)(\sum Y)}{(n\sum X^2) - (\sum X)^2}$$

$$b = \frac{(3 \times 2.544299) - (2.695)(2.54299)}{(3 \times 2.421049) - (2.695)^2}$$

$$b = 71.6557377$$

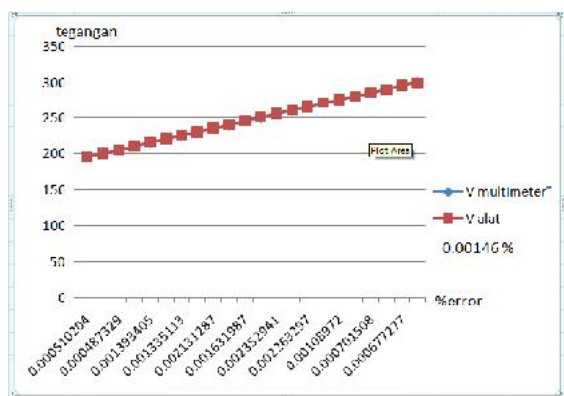
$$\text{Jadi, } Y = 71.6557377X - 63.4277377$$

9. Pengujian sensor arus current tranformer 1

Tabel 4. Pengujian Sensor Arus 1

No	V _s	I Multi Digital	I Alat	Aksi	% Error
1	220	0.625	0.603	ON	0.0352
2	220	0.943	0.953	ON	0.0106
3	220	1.258	1.219	ON	0.031
4	220	1.577	1.624	ON	0.0298
5	220	1.893	1.931	ON	0.1421
6	220	2.212	2.187	ON	0.0113
7	220	2.524	2.555	ON	0.0123
8	220	2.837	2.863	ON	0.0092
9	220	3.164	3.170	ON	0.0019
10	220	3.313	3.360	ON	0.0142
11	220	3.629	3.712	ON	0.0229
12	220	3.954	3.911	ON	0.01088
13	220	4.23	4.242	OFF	0.0028
14	220	4.54	4.573	OFF	0.0073
15	220	4.86	4.794	OFF	0.01358
Rata-rata %error					0.01553

Dari hasil pengujian sensor arus dapat dilihat dalam bentuk grafik %error pembacaan arus.



Gbr. 14 Hasil Grafik %error pembacaan arus 1

Tabel 4 dan Gambar grafik 14 merupakan data hasil pengujian sensor arus current transformer 1, pada pengujian ini hanya menggunakan beban induktif dan beban resistif. Pengkalibrasian sensor arus ini

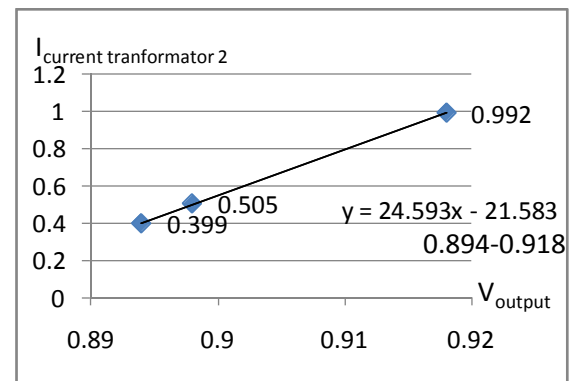
dikalibrasikandengan Multimeter Digital Kyoritsu 1009. Pada tabel dan grafik terdapat nilai rata-rata error alat yaitu 0.01553%.

10. Perhitungan Regresi Linier Arus 2

Pada perhitungan berikut ini hanya sebagian contoh dari perhitungan regresi linier data arus, untuk secara keseluruhannya terdapat pada lampiran C. Beberapa perhitungan dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Arus 0.399 – 0.992

No	Vdc (X)	I multi (Y)	X ²	XY
1	0.894	0.399	0.799236	0.356706
2	0.898	0.505	0.8066404	0.45349
3	0.918	0.992	0.842724	0.910656
Σ	2.71	1.896	2.448364	1.720852



Gbr. 15 Grafik pengujian Arus 0.399– 0.992

$$a = \frac{(\sum Y)(\sum X^2) - (\sum X)(\sum XY)}{(n\sum X^2) - (\sum X)^2}$$

$$a = \frac{(1.896)(2.448364) - (2.71)(1.720852)}{(3 \times 2.448364) - (2.71)^2}$$

$$a = -21.58344355$$

$$b = \frac{(n\sum XY) - (\sum X)(\sum Y)}{(n\sum X^2) - (\sum X)^2}$$

$$b = \frac{(3 \times 1.720852) - (2.71)(1.896)}{(3 \times 2.448364) - (2.71)^2}$$

$$b = 24.59274194$$

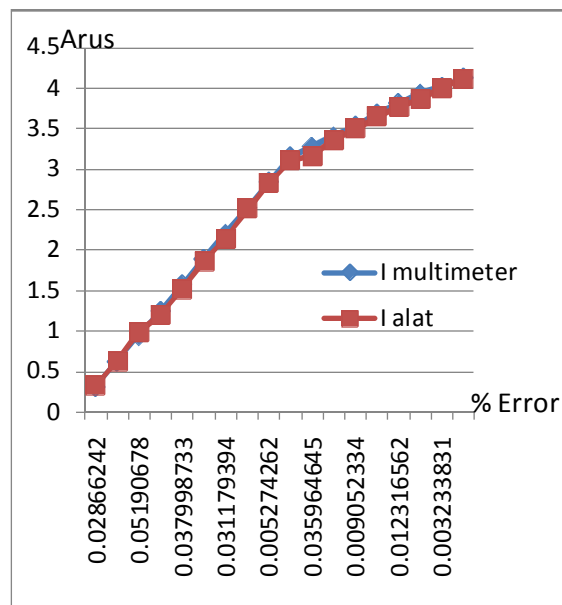
$$\text{Jadi, } Y = 24.59274194X - 21.58344355$$

11. Pengujian Sensor Arus Current Transformer 2

Tabel 6. Pengujian Sensor Arus 2

No	V _s	I multimeter digital	I alat	Aksi	%Error
1	220	0.314	0.393	ON	0.028662
2	220	0.627	0.633	ON	0.009569
3	220	0.944	0.993	ON	0.051907
4	220	1.257	1.204	ON	0.042164
5	220	1.579	1.519	ON	0.037999
6	220	1.898	1.866	ON	0.01686
7	220	2.213	2.144	ON	0.031179
8	220	2.527	2.516	ON	0.004353
9	220	2.844	2.829	ON	0.005274
10	220	3.158	3.106	ON	0.016466
11	220	3.281	3.163	ON	0.035965
12	220	3.413	3.362	ON	0.014943
13	220	3.535	3.503	ON	0.009052
14	220	3.690	3.653	ON	0.010027
15	220	3.816	3.769	ON	0.012317
16	220	3.936	3.865	ON	0.018039
17	220	4.02	4.01	OFF	0.003234
18	220	4.13	4.118	OFF	0.002906
Rata-rata %error					0.019495

Dari hasil pengujian sensor arus dapat dilihat dalam bentuk grafik % error pembacaan arus.



Gbr. 16 Hasil Grafik error pembacaan arus 2

Tabel 6 dan Gbr grafik 16 merupakan data hasil pengujian sensor arus current transformer 2, pada pengujian ini hanya

menggunakan beban induktif dan beban resistif. Pengkalibrasian sensor arus ini dikalibrasikandengan Multimeter Digital Kyoritsu 1009. Pada tabel dan gambar grafik terdapat nilai rata-rata error alat yaitu 0.019495A.

12. Pengujian Arus Total Curent Transformator

Tabel 7. Pengujian arus total

No	Arus 1	Arus 2	Arus Total
1	0.603	0.393	0.996
2	0.953	0.633	1.586
3	1.219	0.993	2.212
4	1.624	1.204	2.828
5	1.931	1.519	3.45
6	2.187	1.866	4.053
7	2.555	2.144	4.699
8	2.863	2.516	5.379
9	2.317	2.829	5.146
10	3.36	3.106	6.466
11	3.712	3.163	6.875
12	3.911	3.362	7.273
13	4.242	3.503	7.745
14	4.573	3.653	8.226
15	4.794	3.769	8.563

Tabel 7. merupakan data hasil pengujian penjumlahan sensor arus *current transformer* 1 dan *current transformer* 2. Yang ditampilkan dalam tampilan LCD 2x16 dalam bentuk digital.

B. Pembahasan

Prototype proteksi arus lebih merupakan suatu alat yang digunakan untuk memproteksi arus pada saluran apabila terjadi kelebihan arus dari batas maksimal yang ditetapkan dan hubung singkat. Proteksi ini dilakukan oleh rangkaian *driver relay* yang dihubungkan pada suatu unit pengontrol yaitu mikrokontroler ATmega32. Selain dapat memproteksi, alat ini juga dapat mengetahui nilai arus yang terukur dari pemakaian beban. Proses pembacaan arus menggunakan *Curent Transformer* kemudian keluarannya dihubungkan ke rangkaian pengkondisi sinyal

sensor arus dan dikonversikan menjadi data digital oleh mikrokontroller ATmega32. Setelah dari masing-masing *Current transformer* pembacaan arusnya harus dikalibrasi dengan alat ukur yang terdapat dipasaran, alat ukur yang dijadikan acuan adalah multimeter digital merk New Kyoritsu 1009. Nilai arus pada masing-masing *Curent Transformer* ditetapkan maksimal 4 ampere, jadi yang terukur pada arus total sebesar 8 ampere. Jika melebihi dari nilai arus yang ditetapkan pada masing-masing *Curent Transformer* maka mikrokontroller akan memerintahkan rangkaian *Driver relay* untuk memutuskan yang terhubung ke beban. Alat ini selain untuk memproteksi saluran, juga untuk mengetahui arus total, arus pada masing *Curent Transformer* dan dapat mengetahui nilai tegangan masukan dari PLN. Pembacaan nilai tegangan disini hanya digunakan untuk pembacaan, tidak mempengaruhi aksi dari pemutusan arus. Dari semua hasil pengolahan didalam unit pengontrol mikrokontroller ATmega32 kemudian ditampilkan pada LCD 2x16. Pada pengambilan data yang digunakan sebagai kalibrasi sensor arus maupun sensor tegangan digunakan pencacahan (pengambilan nilai yang linier) pada grafik. Pengambilan nilai linier ini juga mempermudah pengkalibrasian dengan program yang dibuat. Berdasarkan pengujian sistem ini dilakukan untuk melihat apakah semua keseluruhan sistem sudah berjalan sesuai yang difungsikan. Adapun beberapa pengujiannya yaitu menguji sensor tegangan, sensor arus pada masing-masing *current transformer* dan pengujian dari sistem proteksi itu sendiri. Pada pengujian sensor tegangan, sensor tegangan yang digunakan yaitu *tranformer step down*, rata-rata kesalahan pada saat pengujian sensor tegangan yang didapat antara pembacaan tegangan alatterhadap tegangan multimeter adalah sebesar 0.001459%. Sedangkan pada pengujian sensor arus dari kedua *current transformer*, Pada masing-masing pengujian pembacaan arus oleh *current transformer*

terdapat selisih dengan alat yang dijadikan acuan tersebut, adapun nilai *error* pembacaan sensor arus pada *current transformer* 1. Rata-rata kesalahan yang didapat antara pembacaan Arus alatterhadap arus multimeter adalah sebesar 0.01553% sedangkan *error* pembacaan sensor arus pada *current transformer* 2, Rata-rata kesalahan yang didapat antara pembacaan Arus alatterhadap arus multimeter adalah sebesar 0.019495%. Setelah pengujian sensor arus pada masing-masing *Current transformer* sudah presisi, selanjutnya melakukan pengujian dari sistem proteksi arus lebih itu sendiri, pada proteksi arus lebih ini sendiri menggunakan rangkaian *driver relay* dapat dilihat pada gambar 4.6. Pada rangkaian *driver relay* menggunakan *driver ULN 2003*, Pada rangkaian *Driver Relay* semuanya dicontrol oleh unit control mikrokontroller ATmega32, jadi *driver relay* tidak akan beraksi sebelum ada perintah dari mikrontroller ATmega32, adapun aksi yang di perintahkan oleh mikrontroller ATmega32 yaitu pemutusan saluran kebeban dengan acuan pembacaan arus oleh sensor arus telah melebihi nilai nominal arus yang ditentukan. Pembatasan nilai nominal arus maksimal yang ditentukan adalah 4 ampere. Pembatasan arus 4 ampere tersebut adalah pada masing-masing *current transformer*.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Simpulan

Berdasarkan hasil dari *Prototype* Proteksi Arus Lebih Menggunakan *Current Transformer* Berbasis Mikrokontroller ATmega32 dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Proteksi Arus Lebih yang dibangun dapat memutuskan saluran apabila terjadi kelebihan pemakaian beban dan hubung singkat, dapat menghubungkan kembali apabila arus dibawah batas maksimal.
2. Pada tampilan (*Display*) alat terdapat tampilkan nilai arus dan tegangan terukur dari pemakaian beban.

3. Pada alat ini penggunaan beban di batasi maksimal 4 ampere pada masing-masing *Current Transformer* (CT).
4. Pada setiap pengujian persentase rata-rata nilai *error* pembacaan sensor sebesar 0.01553A (pada saat pengujian *Current Transformer 1*), 0.019495A (pada pengujian *Current Transformer 2*), 0.001459V (pada saat pengujian sensor tegangan).

B. Saran

Berdasarkan pengalaman selama berlangsungnya perancangan dan pengujian *Prototype* Proteksi Arus Lebih Menggunakan *Current Transformer* Berbasis Mikrokontroler ATmega32, terdapat beberapa saran sebagai berikut:

1. Pada penelitian selanjutnya diharapkan dapat menambah penggunaan data *logger*, supaya dapat menghitung konsumsi energi yang terpakai.
2. Pada penelitian selanjutnya dapat dikembangkan untuk konfigurasi pembangkit listrik tenaga hybrid.

REFERENSI

- [1] Arismunandar, A., Teknik Tegangan Tinggi, Pradnya Paramita, Jakarta, 1984
- [2] Djiteng Marsudi. Operasi Sistem Tenaga Listrik, Balai Penerbit Humas ISTN BHumi Srengseng Indah 8 Juni 1990
- [3] Gunawan, Hanapi. Prinsip-prinsip Elektronika, jilid kedua, Jakarta :PT, Gelora Aksara Pratama, 1992.
- [4] Permata, Diah. Analisis Rangkaian Elektrik. Jilid satu, Bandar Lampung : Universitas Lampung, 2011.
- [5] Winoto, Ardi. 2009. Mikrokontroler AVR dan pemrogramannya dengan bahasa C pada Win AVR, Informatika. Bandung.
- [6] Harinaldi. Prinsip-prinsip Statisti untuk Teknik dan Sains. Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Indonesia.